

**CIRCULAR TÉCNICA**

ISSN 1413-9545  
agosto, 1998

Número 8/98

**METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO MICROTOMÓGRAFO DE  
RAIOS X**

Álvaro Macedo da Silva  
João de Mendonça Naime  
Paulo Estevão Cruvinel  
Sílvia Crestana



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária*

*Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

*Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP*

*Telefone: (016) 274 2477 - Fax: (016) 272 5958*

# **METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO MICROTOMÓGRAFO DE RAIOS X**

Álvaro Macedo da Silva<sup>1</sup>  
João de Mendonça Naime<sup>1</sup>  
Paulo Estevão Cruvinel<sup>1</sup>  
Sílvia Crestana<sup>1</sup>

## **INTRODUÇÃO**

### **Objetivo**

Esta Circular Técnica visa trazer, exclusivamente, informações que permitam ao usuário do microtomógrafo operá-lo. Não tratará de metodologias e aplicações, que serão abordadas em publicações específicas. Também não será abordada aqui a utilização do programa de reconstrução.

Supõe-se que o usuário tenha conhecimentos básicos de tomografia computadorizada. O leitor interessado poderá encontrar informações detalhadas sobre o algoritmo e reconstrução de uma imagem tomográfica em Rosenfeld & Kak (1982). Os detalhes do desenvolvimento do microtomógrafo encontram-se em Macedo (1997).

### **Apresentação do sistema**

As partes constituintes do microtomógrafo serão apresentadas, visando clareza de identificação quando da descrição operacional do sistema. Na Figura 1 vê-se o diagrama

---

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos – SP.

de blocos do equipamento e na Figura 2 uma foto do conjunto, mostrando:

1. Sistema de raios X
2. Sistema de movimentação da mesa
3. Sistema de detecção de fótons e alinhamento do feixe
4. Base antivibratória
5. *Rack* contendo microcomputador, controladores dos posicionadores e fontes de alta tensão (A.T.) e baixa tensão (B.T.)
6. Microcomputador

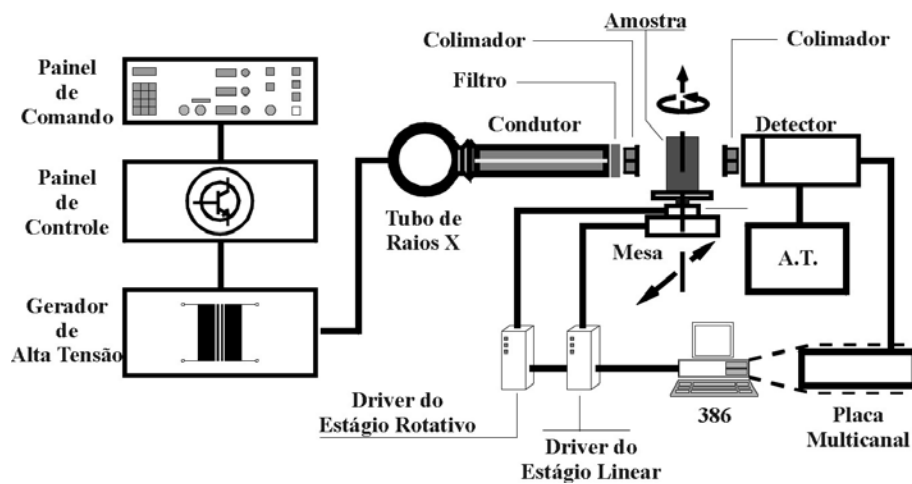


Figura 1 - Diagrama de blocos do microtomógrafo.

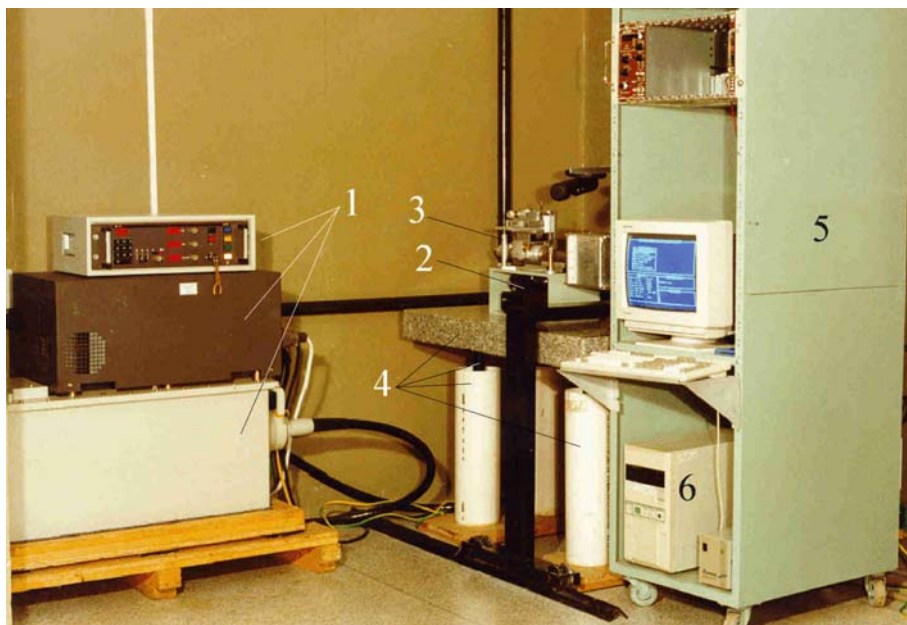


Figura 2 - Foto do conjunto do microtomógrafo, onde podem-se ver: (1) sistema de raios X; (2) sistema de movimentação da mesa; (3) sistema de detecção de fótons e alinhamento do feixe; (4) base antivibratória; (5) *rack* contendo microcomputador, controladores dos posicionadores e fontes de alta tensão (A.T.) e baixa tensão (B.T.); (6) microcomputador.

#### Sistema de raios X

O sistema de raios X é o modelo MG164, da Philips GmbH, composto de: gerador modelo MGG31, tensão máxima de saída 160kV, corrente máxima de saída 45mA; painel de controle eletrônico MGP 33; painel de comando MGC 30 e tubo MCN 165, tensão máxima 160kV, potência máxima 3kW (ver Figuras 3 e 4).



Figura 3 - Sistema de raios X onde são vistos (1) painel de comando, (2) painel de potência, (3) gerador de alta tensão, (4) colimador de 8mm, (5) caixa de blindagem e (6) tubo de raios X no interior da caixa de blindagem.

Esse sistema requer cuidados especiais, podendo-se citar, entre eles, a refrigeração do tubo. A corrente de elétrons entre o cátodo e o ânodo aquece este último e torna-se necessário resfriá-lo para que sua temperatura não atinja um limite que o danifique. O sistema de resfriamento deve fornecer água a uma temperatura máxima de 45° C e com vazão mínima de 4 l/min.

No interior do tubo existe um difusor da água de refrigeração próximo ao ânodo, no formato de chuveiro. Apesar do filtro que é colocado no sistema, esse difusor necessita de uma limpeza periódica, pois seus orifícios são obstruídos gradativamente, diminuindo a vazão da água. O período dessa limpeza depende da qualidade da água, porém não deverá ser superior a seis meses. Um indicativo da necessidade de se limpar o difusor é a ocorrência de desligamento automático do equipamento de raio X, acompanhado da apresentação do código de falha N° 001, no visor do painel de comando. A limpeza deve ser feita por pessoa qualificada, pois, próximo ao difusor localiza-se o bico de fechamento a vácuo da ampola do tubo. Qualquer dano a esse bico danificará o tubo de forma irreversível.

Outro cuidado a ser tomado com o sistema é o pré-aquecimento do tubo. Quando o sistema é ligado, pela primeira vez no dia, faz-se necessário executar um dos procedimentos de aquecimento prévio, que constam da parte 3 do *System Documentation* do sistema de raios X, da Philips. O procedimento a ser adotado depende do tempo durante o qual o tubo permaneceu inoperante, sendo eles:

Procedimento 101 – sistema desligado de 1 a 3 dias

Procedimento 102 - sistema desligado de 4 a 14 dias

Procedimento 103 - sistema desligado há mais de 14 dias

**IMPORTANTE:** O tempo de inoperância do tubo não poderá atingir seis meses, pois devido ao vácuo da ampola, partículas metálicas soltam-se de suas paredes e precipitam-se, formando um caminho preferencial para a corrente. Ao ser ligado o tubo, após um longo período, pode formar-se uma alta corrente por esse caminho, causando um dano permanente.

Maiores detalhes sobre o sistema de raios X e os cuidados necessários à sua operação podem ser vistos no manual do proprietário.

#### Sistema de movimentação da amostra

O sistema de movimentação da amostra (Figura 4), é composto das seguintes partes: estágio linear modelo U4008MP, TIME & PRECISION, resolução de 1,25 $\mu$ m, precisão linear 0,01/25mm/mm, repetibilidade 5 $\mu$ m e deslocamento máximo de 100mm; estágio rotativo modelo A3757TSP, TIME & PRECISION, resolução de 0,01°, precisão  $\pm$ 0,05 e repetibilidade 0,01; um controlador para cada estágio, modelo SX, TIME & PRECISION.

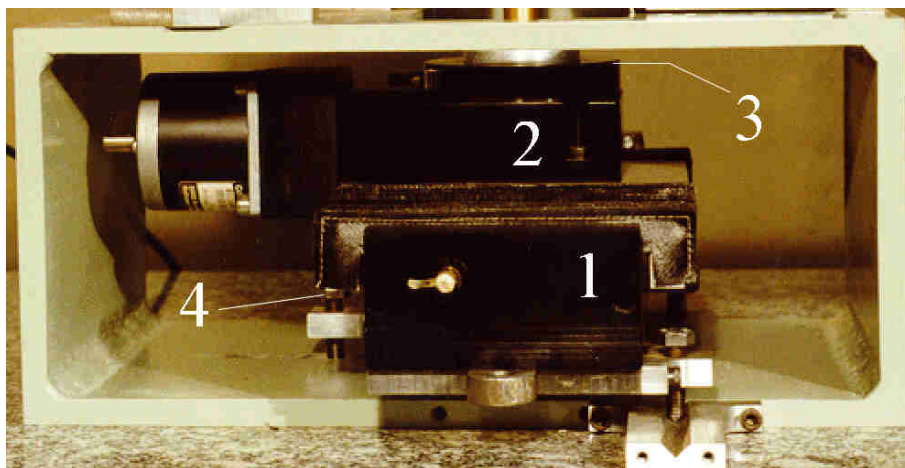


Figura 4 - Detalhe do sistema de posicionamento da amostra onde podem ser vistos o (1) posicionador linear, (2) o posicionador rotativo, (3) o plano de referência da mesa e (4) o parafuso de ajuste da inclinação da mesa.

#### Cadeia Nuclear

A cadeia nuclear é composta de: detector de NaI (TI), com fotomultiplicadora modelo 4SHA6M/1.5A, HARSHAW/FILTROL (ver detalhe 5, na Figura 7); fonte de alta tensão modelo 556, EG&G ORTEC, tensão de saída de 50 a 3000V (ver detalhe 1, na Figura 5); fonte de baixa tensão, modelo 4002D, EG&G ORTEC, 160 W (ver detalhe 2, na Figura 5); placa multicanal modelo 5000, VIKING INSTRUMENTS.

A fonte de alta tensão, para o detector acima, deve ser ajustada em 0,95kV.

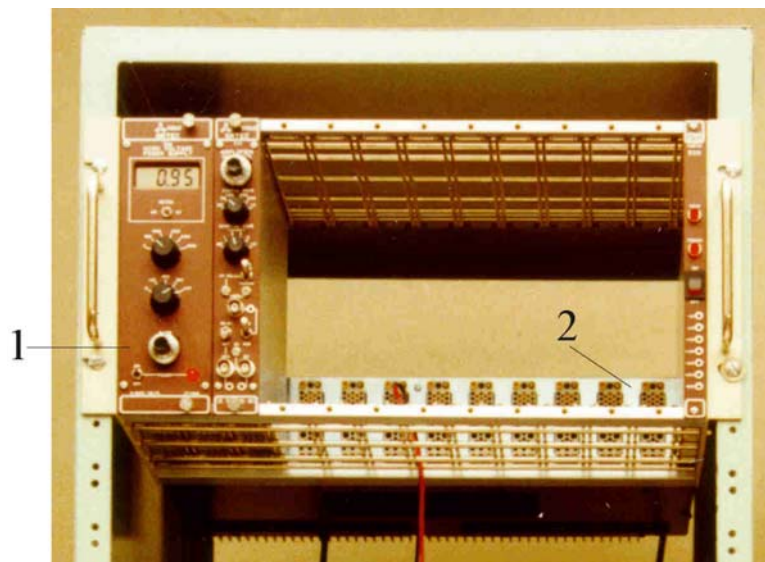


Figura 5 – *Rack* NIM-BIN onde podem ser vistas (1) a fonte de A.T. e (2) a fonte de B.T.

### Colimadores

Um primeiro colimador foi colocado na saída do tubo de raios X, visando diminuir a abertura do feixe e permitir um acoplamento do tubo com o restante do sistema. Esse colimador possui diâmetro externo de 40mm, diâmetro interno de 8mm e comprimento de 130mm. Na extremidade desse colimador, há uma redução com 4mm de diâmetro interno. Essa redução possui um anel externo de latão e um núcleo de Pb (ver Figura 3, detalhe 4).

Para obter um feixe fino foram construídos colimadores em Pb e PbO<sub>2</sub> com resina epoxy. Os colimadores em Pb possuem diâmetros de 100μm e 335μm. Os colimadores em PbO<sub>2</sub> e epoxy possuem diâmetros de 60μm.

Não há necessidade de se colocarem colimadores iguais na fonte e no detector. Em geral, utiliza-se um arranjo onde o



colimador do detector é maior que o da fonte; porém, um arranjo inverso traz a vantagem de maior eliminação de radiação espalhada.

A Figura 6 mostra um colimador de 100 $\mu\text{m}$ , um colimador de 60 $\mu\text{m}$  e seus suportes.



Figura 6 - Foto dos colimadores e seus suportes, sendo (1) colimador em  $\text{PbO}_2$  e epoxy, (2) colimador de 100 $\mu\text{m}$ , em Pb, (3) suporte do colimador de 60 $\mu\text{m}$  e (4) suporte do colimador de 100 $\mu\text{m}$ .

#### Dispositivo de alinhamento do feixe

O alinhamento, em qualquer escala de tomografia, é um fator muito importante para que se excluam raios espalhados, que afetam o contraste da imagem, e para que não se excluam os raios do feixe fino central. Obviamente, o conceito de fino é relativo à escala na qual se está trabalhando, o que define, também, o grau de precisão necessário ao alinhamento. Na microtomografia trabalha-se com feixes da ordem de 100 $\mu\text{m}$  ou menores, o que torna esse alinhamento muito crítico.

Para efetuar esse alinhamento foi desenvolvido o dispositivo mostrado na Figura 7. Com esse sistema, conseguem-se movimentos com resolução da ordem de  $10\mu\text{m}$ .

Os movimentos são obtidos através dos botões (1) para o deslocamento linear vertical, (2) para o deslocamento linear horizontal, (3) para o deslocamento angular vertical e (4) para o deslocamento angular horizontal.

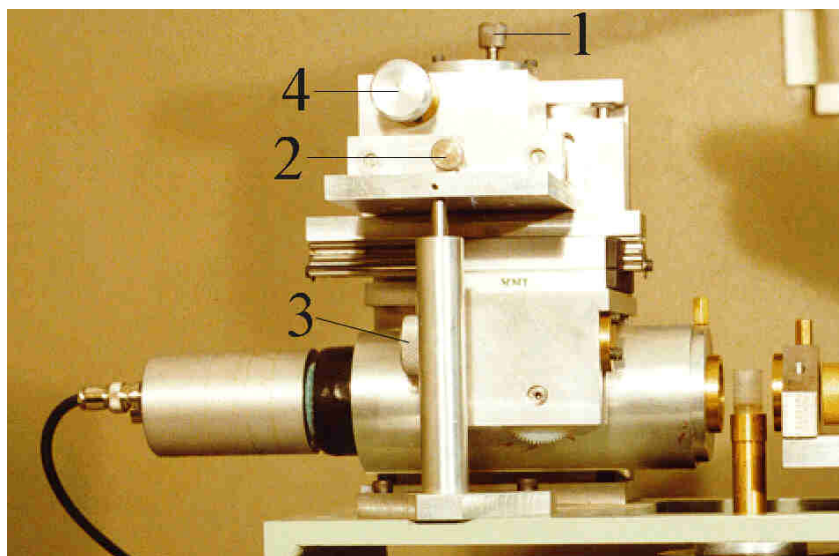


Figura 7 – Dispositivo de alinhamento do feixe onde são vistos (1) botão do deslocamento linear vertical, (2) botão de deslocamento linear horizontal, (3) botão de deslocamento angular vertical e (4) botão de deslocamento angular horizontal.

#### Dispositivo de ajuste do paralelismo do feixe

O feixe de raios X e a mesa posicionadora devem estar paralelos para se evitar o efeito apresentado na Figura 8 onde se vê, ao invés de uma fatia, um sólido de revolução e, portanto, cada ponto, com exceção do centro do sólido, é cruzado por um único feixe. Esse efeito causa distorções na imagem.

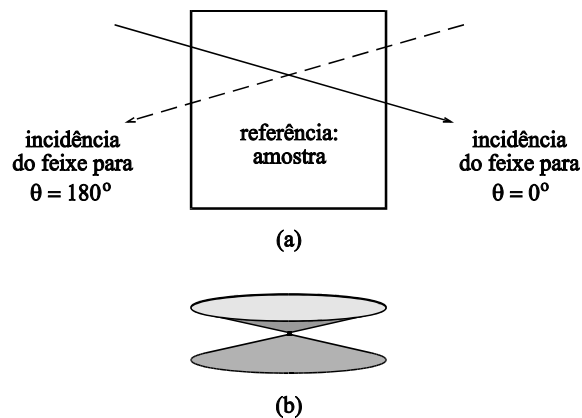


Figura 8 - Efeito produzido quando o feixe não está paralelo ao plano de translação. Em (a) mostra-se que o feixe não corta a amostra em um plano e em (b) vê-se que ao invés de uma fatia tem-se um sólido de revolução.

Na Figura 9, vê-se o dispositivo desenvolvido para o ajuste do paralelismo do feixe. Ele é composto de (1) uma base de referência, (2) um micrômetro e (3) uma barreira de chumbo.

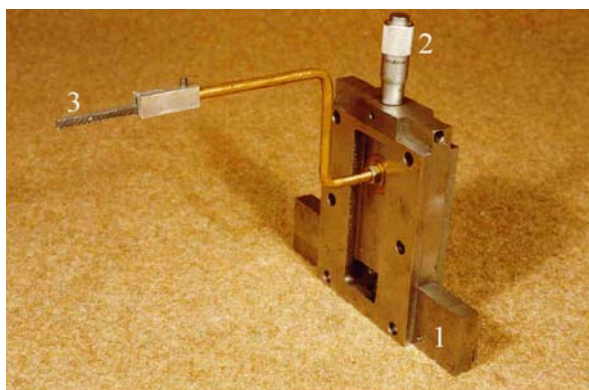


Figura 9 - Dispositivo para ajuste do paralelismo do feixe onde são vistos (1) a base de referência, (2) o micrômetro e (3) a barreira de chumbo.

## Mesa antivibratória

A mesa antivibratória é composta de uma base de granito (Figura 2, detalhe 4), com 100mm de espessura, 600mm de largura e 1000mm de comprimento, apoiada sobre quatro colunas de PVC, contendo areia e quatro elementos de apoio que são colocados entre a base de granito e a areia. Esses elementos de apoio são formados por discos de aço 1020, com 126mm de diâmetro e 24mm de espessura, ligados por barras cilíndricas de aço 1020, com 38mm de diâmetro e 203mm de comprimento. A face do disco, que fica em contato com o granito, é revestida por um disco de borracha de 5 mm de espessura.

## Blindagem

A caixa mostrada na Figura 3, detalhe 5 tem a função de blindar a radiação de escape que atravessa as paredes do tubo, fora da janela de saída do raio X. O objetivo é proteger o usuário durante os ajustes do sistema. Recomenda-se medir sempre o nível de radiação. A dose máxima não deverá ser superior a  $25\mu\text{Sv.h}^{-1}$ .

## Programa de controle

O programa de controle micro.exe foi desenvolvido para o ambiente DOS e suas principais funções são a movimentação da mesa (rotação e translação), a centralização da mesa, a inicialização e a leitura da placa multicanal e o armazenamento dos dados em disco.

A interface homem-máquina é feita via teclado e monitor de vídeo. Os parâmetros da tomografia, tais como tempo de contagem, passo linear, passo angular, faixa de energia, tamanho da amostra e nomes dos arquivos de parâmetros e de saída dos dados podem ser inseridos pelo usuário.

A Figura 10 mostra a tela principal do programa de controle, com as seguintes janelas: MENU PRINCIPAL – possui as

opções de utilização do programa; PARÂMETROS – mostra os parâmetros da tomografia; POSIÇÃO DA MESA – mostra as posições angular (graus) e linear (mm) da mesa durante a tomografia e MENSAGENS – mostra mensagens de situação do programa como “Centrando a Mesa”, “Tomografia em Andamento” e “Tomografia Concluída”.



Figura 10 – Tela principal do programa de controle.

## CALIBRAÇÕES

### Calibração da placa multicanal em energia

Antes de proceder a essa calibração devem-se ajustar o ganho e o zero da placa. Dois pontos devem ser observados para tal. Primeiro, o ganho deve ser tal que o espectro de interesse fique todo contido na tela e, preferivelmente, no centro da escala. Segundo, após esse ajuste, a escala deve estar linear, ou seja,

considerando-se  $C_1$  como o canal onde se localiza uma energia conhecida  $E_1$ , e  $C_2$  o canal onde se localiza uma energia de referência  $E_2$ , a seguinte relação deve ser válida:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (1)$$

O procedimento de ajuste do ganho e do zero da placa multicanal deve ser visto no *Installation Manual and Users Guide* da placa MCA5000, da Viking Instruments.

Para a calibração em energia são necessários dois picos conhecidos de energia. Utilizou-se uma fonte de  $\text{Am}^{241}$  que ao interagir com o cristal de  $\text{NaI(Tl)}$  do detector apresenta dois picos: o pico característico do amerício, de 59,5keV, e o pico de escape do iodo, de 31keV. Para se utilizar a placa multicanal o sistema eletrônico deve estar aquecido há pelo menos uma hora. Uma segunda forma de se fazer tal calibração é utilizar o próprio tubo de raios X, com dois filtros de materiais diferentes. Tem-se utilizado aqui um filtro composto de resina epoxy com Sn e um filtro de Pb. Para se conhecerem os picos dos dois filtros calibra-se inicialmente a escala, conforme já descrito. A seguir medem-se os picos, anotando-se todas as condições, como tensão, corrente, colimadores utilizados e tempo de aquecimento do sistema de raios X. Para calibrações futuras, repetem-se as condições do sistema, porém não sendo mais necessário o uso da fonte de  $\text{Am}^{241}$ . Os valores encontrados, respectivamente, foram de 28,3keV e 79,5keV. As condições foram as seguintes: ambos os colimadores eram de Pb, tendo o da fonte o diâmetro de 335 $\mu\text{m}$  e o do detector diâmetro de 1700 $\mu\text{m}$ ; a corrente foi de 10mA; as tensões foram de 50kV e 100kV, respectivamente; o tempo de aquecimento da eletrônica e do sistema de raios X foi de uma hora. As Figuras 11 e 12 mostram a tela do programa da placa multicanal, com os picos de energia dos dois métodos descritos. Repetiu-se esse procedimento, substituindo-se o detector pelo colimador de  $\text{PbO}_2$  e epoxy, de 60 $\mu\text{m}$  e a corrente foi alterada para 10mA. Os resultados obtidos para os fotopicos foram os mesmos.

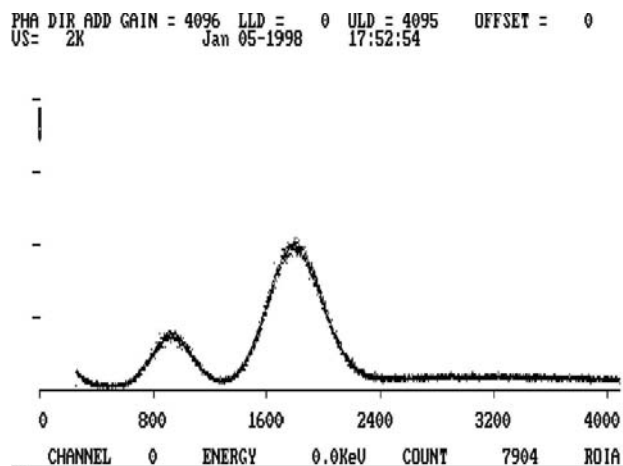


Figura 11 – Picos de energia detectados utilizando-se uma fonte de  $\text{Am}^{241}$ . O primeiro pico refere-se ao escape do iodo (31keV) e o segundo ao pico do amerício (59,5keV).

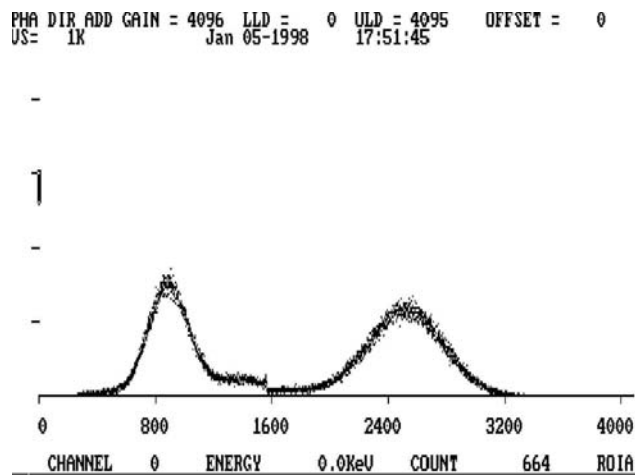


Figura 12 – Picos de energia detectados utilizando-se dois filtros. O primeiro pico refere-se à utilização de filtro de Sn com resina epoxy (28,3keV) e o segundo pico à utilização de filtro de Pb (79,5keV).

## Calibração do tomógrafo – coeficiente de atenuação linear vs unidades tomográficas

Para que as unidades tomográficas apresentadas na tela do monitor tenham o significado de coeficiente de atenuação linear faz-se necessária a calibração do tomógrafo. Como o coeficiente de atenuação depende também da energia, deve-se fazer uma calibração para cada energia de interesse.

O procedimento dessa calibração foi desenvolvido por Crestana et al. (1985) e será apresentado brevemente a seguir. Escolhem-se várias amostras de material homogêneo e com espessura conhecida. Para cada amostra faz-se uma tomografia e calcula-se o valor médio das unidades tomográficas de uma região central, com uma distância de pelo menos quatro passos lineares das bordas. Para a mesma amostra calcula-se o coeficiente de atenuação linear, utilizando-se o método da transmissão direta, onde se medem o número de fótons do feixe livre ( $I_0$ ), o número de fótons que atravessam a amostra ( $I$ ) e a espessura  $x$  da amostra. Calcula-se o coeficiente de atenuação a partir da seguinte relação:

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

Os valores de unidades tomográficas e coeficientes de atenuação ( $\mu$ ) são colocados em um gráfico, obtendo-se a equação da reta de calibração. Em Macedo et al. (1999), tem-se a calibração desse tomógrafo para a energia de 58,5keV. Foram utilizadas as seguintes amostras homogêneas: acrílico, água, álcool etílico, latossolo roxo distrófico (peneirado em peneira com mesh 270 – 0,053mm para homogeneizá-la), nylon, podzólico vermelho (peneirado como a amostra anterior), PVC, teflon e microesferas de vidro (granulometria de 106 $\mu$ m – mesh 150 - a 149 $\mu$ m – mesh 100). Coletaram-se dados de número de fótons atravessando nove pontos diferentes de cada amostra para o cálculo de  $\mu$ , obtendo-se a correlação  $\mu = 0,9697.UT + 0,0036$ , com  $R^2 = 0,9992$



## AJUSTES

### Alinhamento do feixe

Para esse alinhamento utiliza-se o programa da placa de aquisição do microtomógrafo. Esse programa, quando empregado no modo multicanal, mostra no monitor de vídeo a contagem dos fótons em intervalos pré-determinados pelo usuário. O intervalo mais adequado para se acompanhar, dinamicamente, a variação dos fótons durante o ajuste, é de 80ms. Enquanto essa contagem se desenvolve, ajusta-se o sistema de alinhamento do feixe. Visualizam-se, na tela, as contagens de fótons, conforme indicado na Figura 13. O alinhamento estará pronto quando se atingir o número máximo de contagens. Como existe uma variação estatística, intrínseca à radiação X, o que se observa é o comportamento do conjunto de fótons.

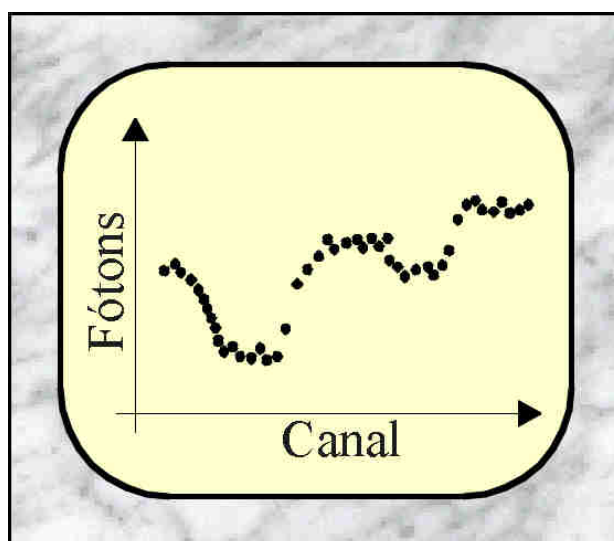


Figura 13 – Ilustração da tela do programa da placa multicanal, durante a contagem de fótons para alinhamento dos colimadores. Quando o ajuste é obtido, o número de fótons é máximo.

Ajuste do paralelismo entre o feixe de fótons e a mesa posicionadora

Mede-se a altura do feixe próximo ao colimador da fonte e acompanha-se a contagem de fótons no monitor de vídeo (região a, na tela da Figura 14). Faz-se a mesma medida próximo ao colimador do detector (região b). Se a contagem de fótons próximo ao colimador do detector for menor que próximo ao colimador da fonte, levanta-se a mesa próximo ao detector. Se for maior, abaixa-se a mesa. O ajuste estará pronto quando as contagens forem iguais (regiões c e d). Essa movimentação da mesa é obtida girando-se o parafuso de ajuste da inclinação da mesa (ver Figura 4, detalhe 4).

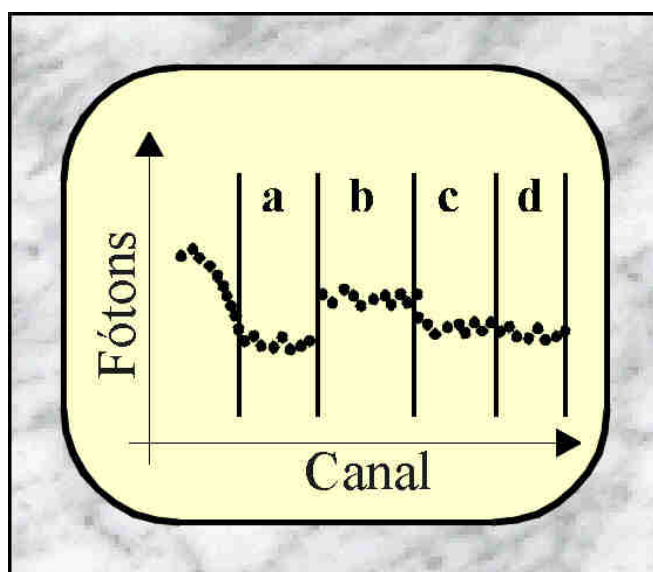


Figura 14 – Ilustração da tela do programa da placa multicanal, durante a contagem de fótons para ajuste do paralelismo entre o feixe de fótons e a mesa. Quando o ajuste é obtido, os números de fótons, colocando-se a barreira de chumbo próximo à fonte e ao detector, são iguais.

## Determinação dos canais de energia

Para esta determinação, deve-se conhecer, antes, o espectro de energia do feixe de fótons que está sendo utilizado. A escolha da energia não será objeto de discussão deste documento, mas cabe citar que a obtenção de um pico quase monoenergético, a partir do espectro amplo de um sistema de raios X, faz-se com o uso de filtros cujas descontinuidades de absorção de energia sejam conhecidas (Cesáreo, 1993). Quando se aumenta a voltagem do gerador, além do pico característico do filtro empregado, surge um segundo pico, conhecido como pico de cauda (ver Figura 15).

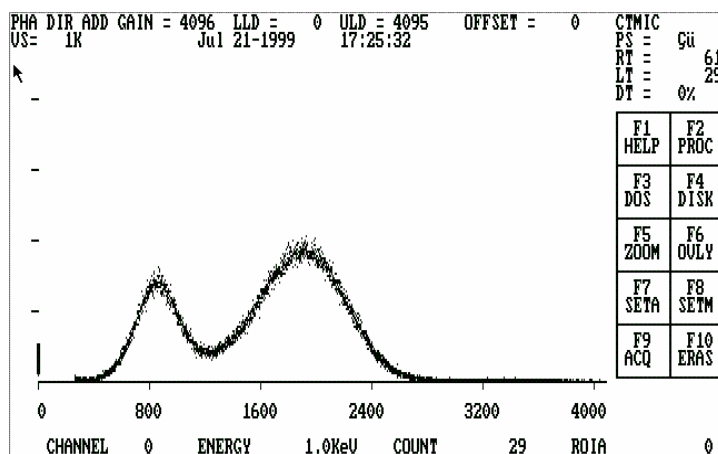


Figura 15 – Espectro de um feixe de raios X, após passar por um filtro de Sn com resina epoxy. Os valores de voltagem e corrente foram 70kV e 10mA. O primeiro pico é característico do filtro utilizado e o segundo é o pico de cauda.

A escolha de um determinado pico dependerá da aplicação. Para se determinar a janela de energia de interesse, escolhem-se os canais inferior e superior, da placa multicanal, no modo PHA, que delimitarão a região dentro da qual os fótons serão contabilizados. Ver o manual do proprietário da placa.

Convém averiguar, levantando-se o espectro da janela, se com esses canais o resultado obtido é o esperado, pois existe um desvio intrínseco à placa e não-ajustável, fazendo com que a janela seja ligeiramente diferente da pré-ajustada. Corrigem-se os valores dos canais até se obter o resultado desejado. Os valores finais devem ser anotados para inserção nos parâmetros da tomografia, quando utilizando o programa micro.exe.

#### Centralização da mesa

O procedimento de centralização utiliza um corpo de prova, no caso uma broca de aço rápido, com diâmetro de 500µm, inserida em um cilindro de acrílico, com 12,7mm de diâmetro e 10,3mm de altura. Coloca-se o corpo de prova no suporte de amostras, seleciona-se o item CENTRALIZAR MESA do programa de controle do microtomógrafo e digita-se ENTER. O programa encarrega-se de localizar o centro da mesa e armazenar esta referência em um arquivo com o nome tomo.ref. Este arquivo é fundamental para o procedimento “Reinício de Tomografia”, pois o seu sucesso depende do posicionamento exato da mesa nas mesmas condições da tomografia a ser continuada. Esse arquivo serve, ainda, para o início de novas tomografias, pois a centralização somente é necessária quando, devido aos procedimentos dos itens 3.1 e 3.2, o centro for alterado. Em Macedo et al. (1997) vê-se como o sistema determina o centro da mesa.

#### UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA DE CONTROLE MICRO.EXE

Para executar o programa de controle, digitar a letra M, na raiz do disco rígido C, e a seguir ENTER. Um arquivo do tipo *batch* (m.bat) transferirá o sistema para o diretório MICROTOM e executará o programa micro.exe. A outra alternativa, obviamente, é executar o próprio programa micro.exe, de dentro do diretório

MICROTOM. Para isso digita-se, quando se estiver nesse diretório, a palavra MICRO e a seguir ENTER.

As opções do programa estarão disponíveis na janela MENU PRINCIPAL, já apresentada em 1.2.9. Ao entrar no programa, os parâmetros da tomografia são inicializados com o conteúdo do arquivo tomo.prm. Esses serão os valores utilizados, caso a tomografia seja iniciada a partir desse ponto.

A seguir, as diversas opções e ações do programa serão descritas.

#### Ajustando os parâmetros da tomografia

Para proceder à alteração dos parâmetros da tomografia seleciona-se a opção AJUSTE DE PARÂMETROS do MENU PRINCIPAL. Uma janela é aberta com as opções 4.1.1 a 4.1.3, descritas abaixo.

##### Ler de Arquivo:

Abre-se uma caixa de diálogo solicitando o nome do arquivo de parâmetros. Digita-se o nome de um arquivo existente, sem a extensão “. prm”, que será colocada automaticamente pelo programa. Os valores contidos nesse arquivo serão armazenados nas variáveis correspondentes aos parâmetros da tomografia.

##### Gravar em Arquivo:

Abre-se uma caixa de diálogo solicitando um nome para o arquivo de parâmetros. O nome padrão é o mesmo do arquivo de saída, porém com a extensão “.prm”. A extensão não deve ser digitada.

Os valores atuais dos parâmetros serão armazenados nesse arquivo.

Esse passo é muito importante para o “Reinício da Tomografia” para que as condições da tomografia a ser continuada sejam reproduzidas.

Ler do Teclado:

Abre-se uma nova janela com o nome AJUSTES VIA TECLADO, contendo as seguintes opções

Tempo de Aquisição

Abre-se uma caixa de diálogo, apresentando o tempo de contagem atual. Esse tempo poderá ser confirmado pressionando-se a tecla ENTER ou substituído por um novo valor. Sua unidade é o segundo.

Mesa

Abre-se uma nova janela PARÂMETROS DA MESA, onde os seguintes parâmetros podem ser mantidos ou alterados:

- Translação Total (mm) – após pressionar ENTER, abre-se uma janela com os diversos tamanhos de matrizes de dados, os passos lineares correspondentes (mm) e os tempos totais de aquisição estimados (hh:mm);
- Rotação Total (graus) – o valor padrão é 180° e deve ser mantido; a caixa existe como uma previsão para a possibilidade de uma aquisição em 360°;

Energia

Abre-se uma caixa de diálogo para inserção dos valores dos canais inferior e superior e da energia;

Comentário

Podem-se inserir, nesta caixa de diálogos, dados importantes para a memória da tomografia, como voltagem, corrente, colimador utilizado, filtro utilizado e pequenos detalhes da amostra. Esse campo é limitado a 80 caracteres;

#### Arquivo de Saída

Nesta caixa de diálogo, digita-se o nome do arquivo de dados sem a extensão “.dat”, que será acrescentada, automaticamente, pelo programa. O nome do arquivo será armazenado no arquivo de parâmetros. Em caso de interrupção e reinício, esse nome será resgatado a partir do arquivo “.prm” e

#### Correção do Efeito Compton

Não disponível.

#### Início da Tomografia

Seleciona-se a opção INÍCIO DA TOMOGRAFIA a partir do MENU PRINCIPAL e pressiona-se ENTER. Tem início a tomografia ou, mais exatamente, a aquisição de dados. Os fótons contabilizados a cada parada da translação são armazenados em um vetor e, ao final de cada varredura linear armazenados no disco rígido do microcomputador. Após gravar o vetor, a posição angular corrente é armazenada no arquivo tomo.ang. Essa informação fornece a referência para um eventual uso da opção REINÍCIO DA TOMOGRAFIA.

Durante a aquisição, a janela MENSAGENS exibe a frase “Tomografia em Andamento”, que após a última varredura é substituída por “Tomografia Concluída”.

Enquanto a tomografia está em andamento, o único comando que fica disponível do MENU PRINCIPAL é o CANCELAMENTO DA TOMOGRAFIA. Para acessar qualquer outro comando deve-se cancelar a tomografia.

#### Cancelando a Tomografia

Para interromper a tomografia seleciona-se a opção CANCELAMENTO DA TOMOGRAFIA no MENU PRINCIPAL e pressiona-se ENTER. Surge uma janela de confirmação com as

opções SIM e NÃO. A primeira interrompe a tomografia e a segunda dá-lhe continuidade. Como o programa reconhece um acionamento de teclado ao final de cada tempo de contagem, ocorre um retardo entre a digitação e a sua aceitação.

#### Reiniciando a Tomografia

Eventos, como falhas na energia elétrica, podem interromper uma tomografia. Para que não se percam as horas de aquisição já efetuadas implementou-se a opção REINÍCIO DE TOMOGRAFIA, que pode ser selecionada do MENU PRINCIPAL. Ao ser acionada, abre-se uma caixa de diálogo solicitando o nome do arquivo de parâmetros, que contém o nome do arquivo de dados cuja aquisição pretende-se dar continuidade. Para evitar equívocos recomenda-se que os arquivos de parâmetros e dados tenham o mesmo nome, com exceção das extensões que, como já foi repetidamente mencionado, são tratadas pelo programa, automaticamente. Após a inserção do nome do arquivo de parâmetros, o programa lê a referência linear em tomo.ref, reposiciona a mesa no centro, lê a posição angular de reinício em tomo.ang e abre uma caixa de diálogo, mostrando esta posição angular, que poderá ser confirmada ou alterada. Em geral, ela pode ser aceita, mas serve como elemento de conferência para verificar se foi escolhida a tomografia correta a ser continuada.

#### Encerrando o Programa

Para sair do programa micro.exe seleciona-se a opção ENCERRAMENTO DO PROGRAMA no MENU PRINCIPAL e pressiona-se ENTER. Abre-se uma janela com as opções SIM e NÃO, podendo-se confirmar ou não a saída.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CESAREO, R.; ALMEIDA, A.; RAO, D.V. **Quasi monochromatic X-rays produced with tubes through transmission and diffusion filters**. Roma: Università Degli Studi di Roma "La Sapienza". Centro Interdipartimentale de Ricerca per L'analisi dei Modelli e Dell'Informazione nei Sistemi Biomedici, 1993. 28p.
- CRESTANA, S.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S. Using a computed tomography miniscanner in soil science. **Soil Science**, Baltimore, v.142, n.1, p. 56-61, July 1986.
- MACEDO, A. **Construção e uso de um tomógrafo com resolução micrométrica para aplicações em ciências do solo e do ambiente**. São Carlos: USP-EESC, 1997. 129p. Tese Doutorado.
- MACEDO, A.; CRUVINEL, P.E.; INAMASU, R.Y.; JORGE, L.A.C.; NAIME, J.M.; TORRE-NETO, A.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S. Micrometric X-ray CT scanner dedicated to soil investigation. In: IEEE INTERNATIONAL MULTICONFERENCE ON CIRCUITS, SYSTEMS, COMMUNICATIONS AND COMPUTERS, 3., Atenas, 1999. Trabalho completo aceito.
- MACEDO, A.; VAZ, C.M.P.; CRESTANA, S. **Microtomógrafo: metodologia para ajustes e calibração**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1997. 12p. (EMBRAPA-CNPDIA. Circular Técnica, 7).
- ROSENFELD, A.; KAK, A.C. Reconstruction. In: ROSENFELD, A.; KAK, A.C. **Digital picture processing**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1982. v.1, cap.8, p.353-430. (Computer Science and Applied Mathematics).